

论 著

CT灌注参数与大脑中动脉狭窄程度及预后的相关性研究*

张 冰^{1,*} 李世威² 李彩艳¹
李宇宁³ 王 晓⁴

1.衡水市第二人民医院神经内科
2.衡水市第二人民医院影像科
3.衡水市第二人民医院康复医学科
4.衡水市第二人民医院内分泌科
(河北 衡水 053000)

【摘要】目的 探讨CT灌注成像(CTP)参数与大脑中动脉(MCA)狭窄程度及预后的相关性。方法 选取我院2022年1月至2023年12月收治的105例MCA狭窄患者，按照狭窄程度分为轻度狭窄组(n=27例)、中度狭窄组(n=46例)、重度或完全闭塞组(n=32例)。三组患者入院后均进行CTP检查，对比三组患者CTP参数[脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)及达峰时间(TTP)]，并随访3个月评估患者预后情况，采用受试者工作特征(ROC)曲线分析CTP参数对MCA狭窄患者预后的预测价值。结果 DSA检查检出轻度狭窄27例(25.71%)，中度狭窄46例(43.81%)，重度或完全闭塞32例(30.48%)。以DSA为“金标准”，CTP评估轻度狭窄、中度狭窄、重度或完全闭塞Kappa值分别为0.871、0.866、0.908，与DSA一致性均为强。三组患侧CBV、CBF均低于健侧(P<0.05)，MTT、TTP均高于健侧(P<0.05)；重度或完全闭塞组CBV、CBF均低于中度狭窄组、轻度狭窄组(P<0.05)，且中度狭窄组低于轻度狭窄组(P<0.05)；重度或完全闭塞组TTP高于中度狭窄组、轻度狭窄组(P<0.05)，且中度狭窄组高于轻度狭窄组(P<0.05)；重度或完全闭塞组MTT高于中度狭窄组、轻度狭窄组(P<0.05)，且中度狭窄组健侧MTT高于轻度狭窄组(P<0.05)，但中度狭窄组患侧MTT与轻度狭窄组比较无统计学差异(P>0.05)。预后良好组CBV、CBF高于预后不良组(P<0.05)，MTT、TTP低于预后不良组(P<0.05)。ROC曲线分析显示，CBV、CBF、MTT、TTP及CTP参数联合检测对MCA狭窄患者预后均有预测效能(P<0.05)，其曲线下面积(AUC)分别为0.737、0.741、0.664、0.774、0.981，单独检测中TTP效能最高，但仍低于联合检测效能。结论 MCA狭窄患者CBV、CBF均降低，MTT、TTP均升高，CTP参数联合用于评估MCA狭窄患者预后具有较高效能。

【关键词】CT灌注成像；狭窄程度；
大脑中动脉狭窄；评估价值；
预后；相关性
【中图分类号】R730.7
【文献标识码】A
【基金项目】衡水市科技计划项目(2022014063Z)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.12.011

Correlation of CT Perfusion Parameters with Middle Cerebral Artery Stenosis Degree and Prognosis*

ZHANG Bing^{1,*}, LI Shi-wei², LI Cai-yan¹, LI Ning-ning³, WANG Xiao⁴.
1.Department of Neurology, Hengshui Second People's Hospital, Hengshui 053000, Hebei Province, China
2.Department of Imaging, Hengshui Second People's Hospital, Hengshui 053000, Hebei Province,China
3.Department of Rehabilitation Medicine, Hengshui Second People's Hospital, Hengshui 053000, Hebei Province, China
4.Department of Endocrinology, Hengshui Second People's Hospital, Hengshui 053000, Hebei Province, China

ABSTRACT
Objective To explore the correlation of CT perfusion (CTP) parameters with middle cerebral artery (MCA) stenosis degree and prognosis. **Methods** 105 patients with MCA stenosis in the hospital were selected from January 2022 to December 2023, and were divided into mild stenosis group (n=27), moderate stenosis group (n=46) and severe or total occlusion group (n=32) according to the degree of stenosis. All three groups of patients underwent CTP examination after admission. The CTP parameters [cerebral blood volume (CBV), cerebral blood flow (CBF), mean transit time (MTT), time to peak (TTP)] were compared among the three groups. The patients were followed up for 3 months, and the prognosis of patients was assessed. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the predictive value of CTP parameters on the prognosis in patients with MCA stenosis. **Results** DSA examination showed mild stenosis in 27 cases (25.71%), moderate stenosis in 46 cases (43.81%), and severe or total occlusion in 32 cases (30.48%). With DSA as the gold standard, the Kappa values of CTP in evaluating mild stenosis, moderate stenosis and severe or total occlusion were 0.871, 0.866 and 0.908 respectively, and the consistency with DSA was strong. The CBV and CBF of the affected side in the three groups were lower than those of the healthy side (P<0.05), and MTT and TTP were longer than those of the healthy side (P<0.05). The CBV and CBF in severe or total occlusion group were lower than those in moderate stenosis group and mild stenosis group (P<0.05), and the indicators in moderate stenosis group were lower than those in mild stenosis group (P<0.05). The TTP in severe or total occlusion group was longer than that in moderate stenosis group and mild stenosis group (P<0.05), and the TTP was longer in moderate stenosis group than that in mild stenosis group (P<0.05). The MTT in severe or total occlusion group was longer than that in moderate stenosis group and mild stenosis group (P<0.05), and the MTT of the healthy side in moderate stenosis group was higher compared to mild stenosis group (P<0.05), but there was no statistical difference in MTT of the affected side between moderate stenosis group and mild stenosis group (P>0.05). CBV and CBF in good prognosis group were higher (P<0.05), and MTT and TTP were shorter than those in poor prognosis group (P<0.05). ROC curve analysis showed that the combined detection of CBV, CBF, MTT, TTP and CTP parameters had predictive efficiency on the prognosis in patients with MCA stenosis (P<0.05), and the areas under the curves (AUCs) were 0.737, 0.741, 0.664, 0.774 and 0.981 respectively. The TTP efficiency was the highest, but it was still lower than that of combined detection. **Conclusion** CBV and CBF are decreased and MTT and TTP are lengthened in patients with MCA stenosis. The combination of CTP parameters has high efficiency on evaluating the prognosis inn patients with MCA stenosis.
Keywords: CT Perfusion Imaging; Stenosis Degree; Middle Cerebral Artery Stenosis; Evaluated Value; Prognosis; Correlation

大脑中动脉(MCA)是颈内动脉的直接延续，供应基底核、内囊等大部分区域，是脑部重要血管之一^[1]。MCA狭窄或闭塞发生比例约占颅内动脉狭窄或闭塞的70%，可直接造成脑组织坏死，引起神经功能损伤，具有较高的致残率及致死率^[2-3]。而临床认为常规CT对脑组织缺血诊断敏感性较低，不易发现病变，导致错过最佳溶栓时机^[4]。数字血管造影(DSA)则为脑血管狭窄或闭塞的诊断“金标准”，但其属于有创性检查，且临床禁忌证多、费用高、可重复性差，限制其临床广泛应用^[5]。因此，亟待寻找一种创伤小、敏感性高、可推广的检查方法。CT灌注成像(CTP)可通过获取影像资料及定量参数[脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)及达峰时间(TTP)]，判断脑组织微循环状态，并确定病变血管位置，为MCA狭窄的早期诊断及预后评估提供参考^[6-7]。基于此，本研究MCA狭窄患者CTP参数变化及与预后的关系，结果如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 纳入标准：单侧MCA狭窄或闭塞；临床资料完整；发病3h~72h内入院；首次发病。排除标准：影像图片模糊或有伪影者；存在心脑血管病史；合并其他脑血管狭窄或脑血管畸形者；颅内出血者。

选取我院2022年1月至2023年12月收治的105例MCA狭窄患者，以DSA为“金标

【第一作者】张 冰，女，主治医师，主要研究方向：神经内科影像相关内容。E-mail: hseywczb@163.com
【通讯作者】张 冰

准”分为轻度狭窄组(n=27例)、中度狭窄组(n=46例)、重度或完全闭塞组(n=32例)。轻度狭窄组男15例,女12例;年龄42~81岁,平均(67.27±4.59);吸烟史11例,糖尿病史4例,饮酒史10例。中度狭窄组男26例,女20例;年龄45~83岁,平均(68.41±4.84);吸烟史25例,糖尿病史8例,饮酒史22例。重度或完全闭塞组男17例,女15例;年龄41~85岁,平均(67.69±4.62);吸烟史14例,糖尿病史7例,饮酒史16例。三组基线资料均衡可比(P>0.05)。本研究经医院伦理委员会审批。

1.2 方法

1.2.1 CTP检查 用Philips Brilliance 64排CT检查,取仰卧位,对平扫感兴趣区域(主动脉弓层面到颅顶)进行CTP扫描。以3 mL/s速度经肘静脉注射50 mL碘佛醇(上海司太立制药有限公司,国药准字H20234353,100mL:32g),然后以相同速度再次注射生理氯化钠溶液40 mL。注射同时进行CTP扫描,参数设定为:电流150 mA、球管压80 kV,旋转时间0.75秒/圈,层厚5 mm,间隔时间1.5 s。共获取128张图像,在工作站处理,得到CT灌注图像、CBV、CBF、MTT、TTP伪彩图及参数。

1.2.2 DSA检查 在患者完成CTP扫描后用Philips FD20数字血管剪影造影机进行DSA,5 mL/s速度注射碘佛醇50 mL,同时进行DSA扫描,范围为自主动脉弓到颅顶,参数设定为:管电压120 kV、管电流450 mAs、层厚0.625mm,观察病灶侧MCA狭窄和闭塞情况。

1.2.3 影像图片分析 由2名经验丰富的医师以双盲法阅片,结果有异议时请第3位医师阅片。DSA评估MCA狭窄程度标准如下^[8]:轻度狭窄(狭窄率<50%),中度狭窄(狭窄率50%~69%)、重度或完全闭塞(狭窄率70%~100%)。CTP观察收缩峰流量评估MCA狭窄程度标准如下^[9]:轻度狭窄(160~180 cm/s),中度狭窄(180~220 cm/s)、重度或完全闭塞(>220 cm/s)。

1.2.4 预后判断 以改良Ranking量表(mRS)^[10]评价治疗3个月预后后,2~5分定义为预后不良,0~1分定义为预后良好。

1.3 统计学方法 用SPSS 22.0分析,计数资料以n(%)表示,用 χ^2 检验;计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间用t检验,多组间用单因素方差分析;CTP检查评估MCA狭窄程度与DSA的一致性比较采用Kappa检验;用受试者工作特征(ROC)曲线分析CBV、CBF、MTT及TTP对MCA狭窄患者预后的预测价值;P<0.05为有统计学意义。

2 结果

2.1 CTP与DSA评估MCA狭窄程度结果 DSA检查检出轻度轻狭窄27例(25.71%),中度狭窄46例(43.81%),重度或完全闭塞32例(30.48%)。以DSA为“金标准”,CTP评估轻度狭窄、中度狭窄、重度或完全闭塞Kappa值分别为0.871、0.866、0.908,与DSA一致性均为强,见表1、2。

2.2 不同狭窄程度组CTP参数比较 三组患侧CBV、CBF低于健侧(P<0.05),MTT、TTP高于健侧(P<0.05)。CBV、CBF比较为重度或完全闭塞组<中度狭窄组<轻度狭窄组(P<0.05);TTP比较为重度或完全闭塞组>中度狭窄组>轻度狭窄组(P<0.05);MTT比较为重度或完全闭塞组>中度狭窄组/轻度狭窄组(P<0.05),且健侧MTT比较中度狭窄组>轻度狭窄组(P<0.05),但患侧比较无统计学差异(P>0.05),见表3。

2.3 不同预后组患侧CTP参数比较 随访3个月预后良好患者78例,预后不良患者27例。预后良好组CBV、CBF高于预后不良组(P<0.05),MTT、TTP低于预后不良组(P<0.05),见表4。

2.4 CTP参数对MCA狭窄患者预后的预测价值 ROC曲线显示,CTP参数联合预测MCA狭窄预后敏感性为100%,特异性为61.54%,见表5、图1。

2.5 典型病例影像分析 见图2。

表1 CTP与DSA评估MCA狭窄程度结果比较[n(%)]

CTP检查	DSA检查								
	轻度狭窄			中度狭窄			重度或完全闭塞		
	阳性	阴性	合计	阳性	阴性	合计	阳性	阴性	合计
阳性	23	1	24	45	6	51	29	1	30
阴性	4	77	81	1	53	54	3	72	75
合计	27	78	105	46	59	105	32	73	105

表2 CTP评估MCA狭窄程度效能

项目	特异性(%)	敏感性(%)	阴性预测值(%)	阳性预测值(%)	准确率(%)	Kappa
轻度狭窄	98.72	85.19	95.06	95.83	95.24	0.871
中度狭窄	89.83	97.83	98.15	88.24	93.33	0.866
重度或完全闭塞	98.63	90.63	96.00	96.67	96.19	0.908

表3 不同狭窄程度组CTP参数比较

侧别	n	CBV(mL·100g ⁻¹)		CBF(mL·100 g ⁻¹ ·min ⁻¹)		MTT(s)		TTP(s)	
		健侧	患侧	健侧	患侧	健侧	患侧	健侧	患侧
轻度狭窄组	27	5.83±1.29	3.33±1.02 [*]	50.59±10.48	32.26±3.36 [*]	4.13±0.50	4.97±0.75 [*]	14.96±2.39	16.04±2.71 [*]
中度狭窄组	46	4.63±1.57 [#]	2.77±0.45 ^{*#}	46.41±5.38 [#]	27.41±4.38 ^{*#}	4.42±0.59 [#]	5.17±0.49 [*]	16.03±2.56 [#]	16.99±3.68 ^{*#}
重度或完全闭塞组	32	4.29±0.62 ^{#^}	1.86±0.57 ^{*#^}	40.65±6.42 ^{#^}	23.65±6.42 ^{*#^}	4.76±0.63 ^{#^}	5.92±0.74 ^{*#^}	17.84±2.57 ^{#^}	18.55±2.98 ^{*#^}
F值	11.719	36.511	13.931	22.759	8.702	18.985	10.049	4.582	
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	

注:与同组健侧比较,^{*}P<0.05;与轻度狭窄组比较,[#]P<0.05;与中度狭窄组比较,[^]P<0.05。

表4 不同预后组患侧CTP参数比较

组别	n	CBV(mL·100g ⁻¹)	CBF(mL·100 g ⁻¹ ·min ⁻¹)	MTT(s)	TTP(s)
预后良好组	78	2.77±0.69	28.69±4.77	5.11±1.27	16.27±3.29
预后不良组	27	2.25±0.46	24.11±5.02	6.03±1.32	19.98±3.55
t值		3.723	4.083	3.097	4.742
P值		<0.001	<0.001	0.003	0.011

表5 CTP参数对MCA狭窄患者预后的预测价值

指标	最佳截断值	约登指数	AUC	95%CI	敏感性(%)	特异性(%)	Z值	P值
CBV(mL·100g ⁻¹)	≤2.531	0.446	0.737	0.641~0.819	81.48	62.82	4.235	<0.001
CBF(mL·100 g ⁻¹ ·min ⁻¹)	≤25.000	0.536	0.741	0.647~0.822	74.07	79.49	4.019	<0.001
MTT(s)	>5.506	0.295	0.664	0.565~0.753	66.67	62.82	2.740	0.006
TTP(s)	>15.974	0.452	0.774	0.682~0.850	92.59	52.56	5.388	<0.001
联合		0.910	0.981	0.933~0.998	100.00	61.54	49.787	<0.001

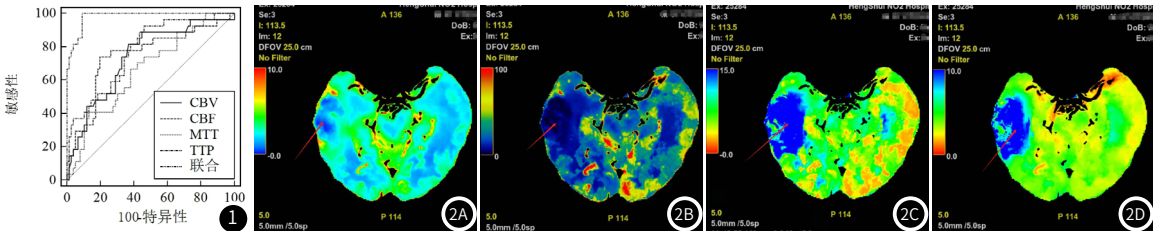


图1 CTP参数对MCA狭窄患者预后的预测价值ROC曲线。
图2A-图2D 1例患者CTP检查影像图片。患者(男), 37岁, 因“阵发性左肢无力18小时”入院, 入院后CTP灌注成像显示右额叶见大片异常灌注区, 图2A提示CBV降低; 图2B提示CBF降低; 图2C提示MTT延长; 图2D提示TTP延长。

3 讨论

缺血性脑梗死是因脑组织血流动力学改变而引起, 其中MCA狭窄为常见的血管病变^[11]。MCA狭窄程度与患者预后密切相关, 狭窄越严重、救治越晚、梗死面积越大患者预后则越差, 近期病死率也越高^[12]。因此, 早期确诊MCA狭窄, 并评估狭窄程度, 选择合适的救治手段, 挽救缺血半暗带, 对改善MCA狭窄患者预后具有重要意义。CTP扫描可获取CBV、CBF、MTT、TTP等参数, 定量评估MCA狭窄患者脑组织微循环状态, 有利于疾病诊断、病情评估等, 帮助制定治疗方案^[13]。

CBV是反映每100g脑组织中血容量的重要指标, MCA狭窄会引起患侧脑血容量下降, 但早期侧支循环代偿, CBV正常或轻度升高, 而晚期脑循环储备失代偿继而导致CBV显著降低, 且与狭窄程度呈反比^[14]; CBF是反映每100 g脑组织中血流量, 其在MCA狭窄患者中的变化与CBV基本类似^[15]。本研究结果也发现, CBV、CBF在MCA狭窄患者中随狭窄程度加重而降低($P<0.05$), 与上述观点相符合。MTT是对比剂自动脉侧到达静脉侧所需的时间, TTP是对比剂自到达成像脑区到最大剂量的时间, 均可反映血流受损情况, 当MCA狭窄血流通过速率减缓, MTT、TTP自然延长^[16]。但王子尧等^[17]研究认为, 低灌注Ⅰ期因小动脉、毛细血管、侧支循环代偿, MTT表现为正常或接近正常。与本研究重度或完全闭塞组TTP高于中度狭窄组、轻度狭窄组($P<0.05$), 且中度狭窄组高于轻度狭窄组($P<0.05$); 重度或完全闭塞组MTT高于中度狭窄组、轻度狭窄组($P<0.05$), 且中度狭窄组患侧MTT高于轻度狭窄组($P<0.05$), 但中度狭窄组患侧MTT与轻度狭窄组比较无统计学差异($P>0.05$)的结果相符合。提示MCA狭窄患者CBV、CBF均降低, MTT、TTP均升高, 且狭窄程度越严重, 降低或升高改变越大。

mRS常被用于评价缺血性脑梗死患者预后^[18], 本研究随访3个月评估患者预后, 并比较不同预后患者的CTP参数, 结果显示, 对于预后不良患者而言, 预后良好患者CBV、CBF更高, MTT、TTP更低($P<0.05$), 提示预后良好的MCA狭窄患者CBV、CBF更高, MTT、TTP更短。CBV、CBF、MTT、TTP等CTP参数可直观、定量地反馈脑血流灌注状态。当CTP参数变化越显著则表示MCA狭窄患者脑血流灌注情况越差, 病灶缺血、缺氧损害越重, 脑功能缺血损害区修复效果差, 预后不良。且经ROC曲线分析显示, ROC结果显示, CTP参数单一或联合检测对MCA狭窄预后均有预测效能($P<0.05$), 但联合效能最高。CTP参数(CBV、CBF、MTT、TTP)可量化评价MCA狭窄患者脑血流灌注情况, 能更加直观地反映脑组织缺血、缺氧程度, 可作为判断判定脑缺血区的功能是否可再修复的敏感指标^[19]。预后不良组TTP、MTT显

著延长、CBV、CBF显著下降与脑循环储备能力失代偿有关^[20], 脑缺血极可能向脑梗死转化, 神经元功能损害加重。联合CTP参数并综合分析, 能够对哪些脑组织可被挽救作出正确的评估, 预测患者预后。

综上所述, MCA狭窄患者CBV、CBF均降低, MTT、TTP均升高, CTP参数联合用于评估MCA狭窄患者预后具有较高效能。

参考文献

[1] Zhang P, Chen L, Chen S, et al. Isolated middle cerebral artery stenosis caused by syphilitic vasculitis[J]. Sex Health, 2023, 20(1): 80-82.

[2] Zhang L, Wu C, Wang H, et al. Microsurgical treatment of middle cerebral artery stenosis or occlusion: a single center experience and literature review[J]. BMC Surg, 2022, 22(1): 87.

[3] 赵丰, 吴霞, 徐志云. 老年大脑中动脉狭窄脑卒中患者CT灌注成像与复发及认知功能的相关性[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(5): 1059-1061.

[4] 马运泽, 张佳. CT血管造影与大脑中动脉狭窄程度及临床预后的相关性研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(7): 4-7.

[5] 李春晓. 脑CT灌注成像在大脑中动脉狭窄患者认知功能和预后中的应用价值分析[D]. 河南: 新乡医学院, 2022.

[6] 赵丰, 吴霞, 徐志云. 老年大脑中动脉狭窄脑卒中患者CT灌注成像与复发及认知功能的相关性[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(5): 1059-1061.

[7] 时建文, 杨忠泽, 刘森. CT灌注成像参数对急性脑梗死侧支循环的评估价值及与术后近期预后的相关性[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(2): 42-44.

[8] Dong H, Zhao J, Lee KY, et al. Hemichorea secondary to isolated temporal infarction with severe middle cerebral artery stenosis: a case report and review of literature[J]. BMC Neurol, 2023, 23(1): 186.

[9] 张帆, 徐媛, 李运祥, 等. 320排CT全脑灌注成像结合4D-CTA在大脑中动脉闭塞患者侧支循环评估中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17(8): 36-38.

[10] Holmgren M, Støverud KH, Zarrinkoob L, et al. Middle cerebral artery pressure laterality in patients with symptomatic ICA stenosis[J]. PLoS One, 2021, 16(1): e0245337.

[11] 赵海清, 王仲坤. 大脑中动脉狭窄高血压患者脑小血管病MRI总体负担与血压成分的关系及其对预后的影响[J]. 中风与神经疾病杂志, 2022, 39(12): 1105-1110.

[12] 周坛雷, 刘振雷, 张幸, 等. HR-MRI联合血清bFGF、ANGPTL4对大脑中动脉狭窄性脑梗死患者的预后价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(12): 6-9.

[13] 张士玉, 姚柳, 姜亦伦. 全脑CTP及动态CTA评估单侧大脑中动脉狭窄或闭塞患者侧支循环状态及预后的价值[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(7): 1137-1140.

[14] 付秀鑫, 郑艳华, 庄甲军, 等. 急性脑梗死CT灌注成像分期与大脑中动脉狭窄程度及临床预后的相关性研究[J]. 临床和实验医学杂志, 2021, 20(9): 916-919.

[15] 刘新立, 吕新胜, 伊力亚斯, 等. 正常成人全脑CT灌注特征的分析[J]. 罕少疾病杂志, 2021, 28(3): 19-23.

[16] 李华莉, 罗敏, 姜萍. 单侧颈内动脉或大脑中动脉狭窄患者脑灌注成像及与血管狭窄程度相关性初步研究[J]. 中国煤炭工业医学杂志, 2023, 26(3): 290-293.

[17] 王子尧, 魏森, 付晓杰, 等. 大脑中动脉狭窄所致豆纹动脉供血区低灌注性脑梗死介入治疗的初步探索[J]. 中华神经科杂志, 2023, 56(5): 513-520.

[18] 刘振宝, 杨位霞, 李秋, 等. 大脑中动脉狭窄性脑梗死患者FLAIR序列高信号血管征与磁共振灌注加权成像的相关性[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2024, 33(2): 128-132.

[19] 郭艳利, 胡示超, 秦文宇, 等. 颅脑CT灌注成像相关指标与IMT对TIA进展为急性脑梗死的预测价值[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(3): 19-21.

[20] 张铭, 周慧, 梁凯秋. 脑CT灌注联合头颅CT血管造影检查对大脑中动脉狭窄性脑卒中诊断价值[J]. 山西医药杂志, 2021, 50(5): 732-734.

(收稿日期: 2024-05-27) (校对编辑: 韩敏求)